



А.Р. Курчиков
д-р геол.-мин. наук
профессор
член-корреспондент РАН
Институт геологии и геофизики им. А.А. Трофимука СО РАН
Западно-Сибирский филиал¹
директор
Тюменский индустриальный университет²
заведующий кафедрой геологии месторождений нефти и газа
arkurchikov@tmnsc.ru



А.Г. Плавник
д-р техн. наук
Институт геологии и геофизики им. А.А. Трофимука
СО РАН
Западно-Сибирский филиал¹
главный научный сотрудник
Тюменский индустриальный университет²
профессор
plavnikag@ipgg.sbras.ru



В.А. Салтов
Институт геологии и геофизики им. А.А. Трофимука СО РАН
Западно-Сибирский филиал¹
лаборатория гидрогеологии и геотермии
ведущий инженер
Тюменский индустриальный университет²
Западно-Сибирский институт проблем геологии нефти и газа
заведующий отделением гидрогеологии
valerij.saltov@gmail.com



Д.А. Курчиков
канд. геол.-мин. наук
Институт геологии и геофизики им. А.А. Трофимука
СО РАН
Западно-Сибирский филиал¹
научный сотрудник
Тюменский индустриальный университет²
доцент
Kurchikov.d@mail.ru

Численное моделирование фильтрации применительно к оценке запасов подземных вод апт- альб-сеноманского комплекса Западной Сибири (на примере Повховского нефтяного месторождения)

¹Россия, 625026, Тюмень, ул. Таймырская, 74.
²Россия, 625000, Тюмень, ул. Володарского, 38.

Для анализа возможного влияния неоднородности коллекторских свойств на достоверность оценки запасов подземных вод на Повховском нефтяном месторождении выполнены расчеты с использованием методов численного моделирования фильтрации подземных вод. В работе описываются методы проведенного моделирования, приводится сопоставление его результатов с данными расчетов по модели однородного пласта и обосновывается вывод о том, что применение численных методов лишь частично снимает вопрос о надежности оценки запасов. Полученные результаты свидетельствуют о том, что для относительно простых гидрогеологических условий апт-альб-сеноманского комплекса Западной Сибири, в целом принципиально не отличающихся от условий на Повховском месторождении, применение численных методов не может обеспечить однозначного повышения достоверности расчетов и практически не влияет на результаты оценки запасов подземных вод по сравнению с аналитическими методами

Ключевые слова: подземные воды; апт-альб-сеноманский комплекс; Западная Сибирь; водозабор; оценка запасов; модель Тейса; численные методы; достоверность результатов

Подземные воды глубоких горизонтов Западно-Сибирского нефтегазоносного бассейна широко применяются в технологических целях при эксплуатации нефтяных и газовых месторождений. Это определяет необходимость регулярного проведения специализированных работ по оценке запасов подземных вод, а также по обоснованию возможности закачки отходов в водоносные горизонты.

В настоящее время для задач моделирования гидродинамических процессов активно развиваются специализированные программные комплексы, которые позволяют решать широкий круг задач, в том числе обеспечивающие детальный учет строения и фильтрационных свойств водоносных горизонтов. Набор применяемых программных продуктов обширен и постоянно развивается и расширяется. Имеется опыт создания и использования постоянно действующих моделей для анализа региональных закономерностей динамики подземных вод в условиях техногенного воздействия [4, 5, 7 и др.].

В сложившихся условиях секция подземных вод ЭТС ФБУ «ГКЗ» приняла решение о целесообразности использования методов математического моделирования для повышения достоверности прогнозных расчетов при эксплуатации подземных вод для целей ППД (протокол от 20.10.2015).

Несмотря на имеющиеся преимущества методов численного моделирования, они, тем не менее, фактически не находят применения при решении рассматриваемых в данной работе задач оценки запасов подземных вод апт-альб-сеноманского водоносного комплекса на водозаборных участках месторождений углеводородов Западной Сибири, и расчеты, как правило, осуществляются на основе аналитических методов теории фильтрации [2 и др.]. В отдельных случаях применяется комбинирование численного регионального моделирования с оценкой прогнозного положения уровня в эксплуатационных скважинах на основе аналитических решений для безграничного пласта [4].

Надежность результатов применения аналитических методов зависит от соответствия модельных условий, заложенных в теоретические формулы, реальным условиям строения и свойств водоносного пласта. Однако, поскольку расчеты проводятся с осредненными значениями гидродинамических параметров – водопроводимости и пьезопроводности, то присущая водоносным пластам неоднородность фильтрационных свойств коллекторов определяет неизбежное наличие осложняющих факторов при оценке достоверности полученных результатов.

Причины применения аналитических расчетных методов обусловлены наличием отработанных технологий их оперативного использования и, как правило, простыми гидрогеологическими условиями меловых отложений Западно-Сибирского мегабассейна, их высокими и относительно однородными коллекторскими свойствами. Экспертный характер оценки надежности применения таких расчетных методов оставляет открытым вопрос о достоверности полученных результатов, который в ряде случаев может быть решен с помощью дополнительного обоснования, в частности на основе рассмотрения нескольких вариантов с использованием различных значений фильтрационных параметров.

Однако на практике встречаются ситуации с неоднородными фильтрационными свойствами пластов при значительных объемах водопотребности. В этих условиях при оценке запасов подземных вод возникает необходимость подтверждения правомерности применения модели Тейса и проведения расчетов с более точным учетом строения и свойств коллекторов, с применением методов численного моделирования фильтрации.

Подобные условия сложились на Повховском нефтяном месторождении, на котором для обеспечения системы поддержания пластового давления начиная с 1987 г. и с нарастающими объемами добычи используются подземные воды апт-альб-сеноманского комплекса. При последнем пересчете запасов, выполненном гидродинамическим методом в рамках модели Тейса в 2017 г., рассмотрена возможность обеспечения водопотребности в значительном, более 60 000 м³/сут, объеме.

Для анализа возможного влияния неоднородности коллекторских свойств на достоверность полученных оценок нами выполнены расчеты с использованием методов численного моделирования фильтрации подземных вод. В данной работе описываются особенности проведенного моделирования, приводится сопоставление его результатов с данными расчетов по модели однородного безграничного напорного пласта (модели Тейса) и обсуждаются проявившиеся проблемные вопросы, связанные с реализацией численных методов.

Общая характеристика объекта исследования

В районе Повховского месторождения апт-альб-сеноманские отложения развиты повсеместно и характеризуются ненарушенным залеганием. Комплекс надежно изолирован водоупорами: сверху – регионально выдержанной толщей гли-

нисто-кремнистых пород турон-эоценового возраста мощностью порядка 700–800 м; снизу – глинами верхнеалымской подсвиты мощностью до 30 м.

На расстоянии до 50 км от месторождения на протяжении около 40 лет с некоторой периодичностью эксплуатировались 25 водозаборов, каптирующих этот водоносный комплекс, на 5 участках в него осуществляется закачка излишков подтоварных вод. На момент переоценки запасов в эксплуатации находились 10 водозаборных участков и два участка закачки технических и излишков подтоварных вод.

За период эксплуатации водозаборного участка Повховского месторождения было обустроено 104 водозаборные скважины. Впервые запасы подземных технических вод подсчитаны в 1995 г. для водозаборного участка, состоящего из 10 эксплуатационных скважин с проектными нагрузками по 2000 м³/сут. В связи с изменениями технологических схем добычи нефти на месторождении несколько раз проведена переоценка запасов подземных вод со значительным увеличением заявленной водопотребности и числа водозаборных скважин.

Последний пересчет в 2017 г. выполнен для водозабора, состоящего из 67 скважин, для условий 25-летнего периода непрерывной эксплуатации водозаборных скважин, проектные нагрузки на которых варьируют от 160 до 3000 м³/сут. Расчеты проведены с учетом понижения уровня от работы скважин водозабора с учетом их взаимодействия, срезок уровней за счет работы водозаборов соседних месторождений, а также с учетом потерь напора в эксплуатационных скважинах за счет их несовершенства по степени и характеру вскрытия. Результирующие значения расчетного понижения уровня в водозаборных скважинах оцениваются в пределах от 81,9 до 178,9 м.

Фильтрационные свойства коллекторов апальб-сеноманских отложений определены по материалам геофизических исследований 20 поисково-разведочных и 3 водозаборных скважин, а также по результатам гидропрослушивания на 3 возмущающих и 5 наблюдательных скважинах и прослеживания за восстановлением уровня подземных вод в одной скважине, остановленной после длительного периода эксплуатации. Оценки водопроводимости по данным ГИС изменяются от 179,5 до 334,6 м²/сут (при среднем значении 242,5 м²/сут, среднее значение пьезопроводности оценено в 5,95·10⁵ м²/сут), величины эффективной мощности – от 386 до 539,6 м. По данным гидродинамических исследований значения водопроводимости варьируют от 165,4 до 339,5 м²/сут.

Методы и результаты численного моделирования

При расчетах нами использована программа *MODFLOW* (в рамках интерфейсной среды *ModelMuse* [8]), в которой для численного решения дифференциального уравнения в частных производных, описывающего фильтрацию подземных вод, реализован метод конечных разностей. Особенностью применения численных методов является необходимость выполнения достаточно большой и требующей аккуратного исполнения технической работы по формированию и занесению исходных данных. Однако для обеспечения надежности результатов их реализации этого недостаточно. Необходимо учитывать математические особенности методов, а также, что имеет большое значение, особенности определения используемых при расчетах модельных параметров.

Область моделирования

Водозаборные скважины Повховского месторождения расположены на территории, простирающейся приблизительно на 40 км в субмеридиональном и 20 км в субширотном направлениях. С учетом расположения соседних водозаборов территория активной эксплуатации водоносного комплекса достигает еще больших размеров и превышает более 100 км в каждом из направлений. При этом область фильтрационного воздействия может распространяться далеко за пределы этих территорий.

При численном моделировании непосредственная реализация модели безграничного пласта невозможна, требуется проведение расчетов в области, значительно превышающей по своим размерам площадь водозаборных участков. Поэтому для оценки приемлемых размеров области моделирования была проведена серия предварительных численных расчетов для различного размера областей – 66×104 км, 150×150 км, 200×200 км и 250×250 км.

Расчеты выполнены для модели однослойного однородного пласта с равномерным шагом сетки в 1 км с учетом проектных дебитов водозаборных скважин на планируемый срок работы водозабора. Значение толщины водоносного слоя принято постоянным и равным 242,5 м, коэффициента фильтрации – 1 м/сут, упругоэластичности – 1/5,95 (10⁻⁵ м⁻¹), что обеспечило равенство водопроводимости и пьезопроводности значениям, принятым при реализации гидродинамического метода подсчета запасов.

При решении задачи моделировались два варианта граничных условий – изолированно-го пласта и пласта с заданным постоянным на-

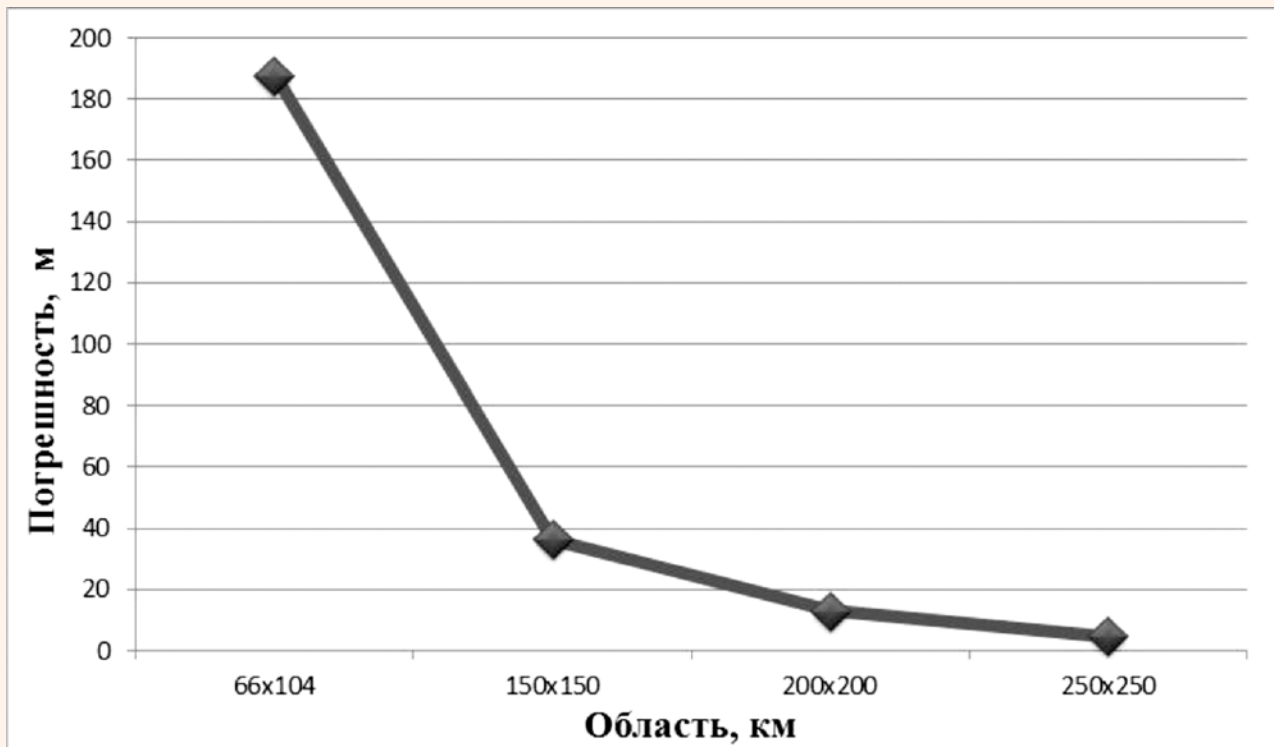


Рис. 1.
Зависимость погрешности расчёта уровня подземных вод от размеров области моделирования

пором на границе, рассматриваемой в задаче области фильтрации. Для рассматриваемых вариантов расчетные понижения уровня характеризуют оценки сверху и снизу по сравнению с результатами значения понижения в рамках модели безграничного пласта. И соответственно, разница между этими оценками может рассматриваться в качестве количественного критерия приемлемости размеров выбранной области для численного моделирования условия гидродинамической неограниченности апт-сеноманского комплекса на Повховском месторождении и прилегающих к нему районах.

Результаты расчетов показывают, что в наиболее нагруженной зоне с использованием граничных условий изолированного пласта расчетные понижения составляют 258, 130, 114 и 108 м для этих областей, соответственно. При расчетах с граничными условиями постоянства уровня на границах соответствующие расчетные понижения в этой зоне составляют 66, 94, 100 и 104 м. Соответственно, с увеличением расчетной области моделирования от 66x104 км до 250x250 км разница при расчетах по двум вариантам граничных условий уменьшается от 192 до 4 м. (рис. 1). Исходя из полученных результатов (и считая значение 4 м допустимой погрешностью), сетка 250x250 км принята в качестве рабочей для последующих численных расчетов.

Геометрические и фильтрационные параметры модели

Для проведения расчетов необходимо задать модельные параметры, характеризующие геометрические и фильтрационные свойства – толщину пласта, коэффициент фильтрации и упругоёмкости, которые могут быть определены на основе интерпретации геофизических исследований в поисково-разведочных скважинах и гидродинамических исследований в водозаборных скважинах Повховского месторождения и прилегающих районов.

Непосредственно по данным интерпретации геофизических исследований построена карта эффективных толщин, полученные значения использованы для заполнения данных о толщине пласта в элементах сеточной модели.

При наличии результатов гидродинамических исследований, которые предоставляют более надежные данные о фильтрационных свойствах коллектора, представляется предпочтительным учитывать эту информацию для картирования коэффициента фильтрации. Однако количество таких результатов невелико, поэтому целесообразно строить такую карту на основе их комплексирования с материалами интерпретации геофизических исследований.

С этой целью нами выполнено предварительное построение карты водопроводимости по данным геофизических исследований 20 скважин Повховского месторождения, 18 сква-

жин Южно-Ваинтойского и 14 Западно-Варьганского месторождений, а также, ввиду отсутствия более детальной информации, осредненными значениями по 7 водозаборным участкам других соседних месторождений.

На основе выполненных построений определена поправка, обеспечивающая равенство результирующего среднего значения этого параметра величине, определенной по данным гидродинамических исследований. На завершающем этапе карта коэффициента фильтрации построена по соотношению значений водопроводимости к эффективной толщине пласта, представленных на соответствующих картах.

Значения упругоэластичности рассчитаны из соотношения коэффициентов фильтрации к значению пьезопроводности пласта, определенной по данным гидродинамических исследований.

Расчет понижения уровня в эксплуатационных скважинах

Одной из проблем численного моделирования является расчёт понижения уровня в скважинах, поскольку при использовании конечно-разностных методов понижение уровня рассматривается постоянным в пределах отдельных пространственных ячеек. Для повышения точности расчетов необходимо выполнять сгущение сетки в окрестности скважин. Однако при этом не только существенно увеличивается время вычислений, но и возникают проблемы со сходимостью используемого при расчетах итерационного процесса к точному решению, которые не имеют простого и однозначного решения.

Для исключения отмеченных проблемных вопросов нами использован подход, основанный на учете радиального характера потока и приемлемости использования методов описания квазистационарного режима фильтрации в окрестности скважины.

В работе [9] приводится простая аналитическая зависимость перехода от шага сетки к условному радиусу контура питания и формула для расчета поправки понижения в скважине с радиусом r_c :

$$\Delta S = \frac{Q}{4\pi km} \ln \frac{h_p}{4.81 * r_c}, \quad (1)$$

где Q – дебит скважины; km – водопроводимость; h_p – ширина ячейки численного моделирования; r_c – радиус скважины. Близкие формулы для расчета понижения в скважинах приведены в работах [1, 6 и др.].

Формула (1) позволяет достаточно точно оценить понижение в скважине, одиночно расположенной в ячейке сетки численного моделирования. В случае попадания нескольких сква-

жин в одну ячейку или их попадания в смежные ячейки такой подход требует корректировки и учета взаимного влияния соседних скважин. При непосредственном использовании формулы (1) такой учет требует расчета суммарного влияния всех соседних скважин друг на друга. Это, как представляется, усложняет расчеты и увеличивает погрешность результирующих оценок.

В этих условиях нами были использованы промежуточные расчеты по модели Тейса работы водозаборных скважин для однородного пласта и для этих же условий (однородности фильтрационных свойств – постоянства водопроводимости, km и пьезопроводности a) выполнены расчеты численными методами для сетки с километровым шагом. Различия в оценках понижения в скважинах этими методами непосредственно характеризуют погрешности прямого использования численных методов без внесения необходимых поправок. Вместе с тем, по результатам сопоставления полученных результатов аналитических и численных методов в скважинах были определены безразмерные поправки:

$$\xi = \frac{4\pi km}{Q} (S_c^a - S_c^p), \quad (2)$$

где Q – дебит скважины; km – водопроводимость; S_c^a – понижение в скважине, рассчитанное по аналитической модели Тейса; S_c^p – понижение, определенное при численном моделировании в ячейке, где расположена скважина.

Эти поправки в последующем использованы для корректировки результатов численного моделирования для неоднородной модели (с той водопроводимостью, которая задана в ячейках расположения скважин):

$$S_c^k = S_c^p + \frac{Q}{4\pi k^p \cdot m^p} \cdot \xi_c^p,$$

где Q – дебит скважины; k^p – коэффициент фильтрации; m^p – эффективная мощность в ячейке « p », где расположена скважина.

Результаты численного моделирования

При расчетах реализована однослойная модель строения пласта с геометрическими и фильтрационными свойствами, определенными описанными выше методами. Моделирование выполнено на сетке 250×250 узлов с шагом 1 км. Время работы водозабора принято равным 25 годам. При расчетах задано 24 временных интервала, начиная от 0,001 суток с последующим ростом шага по времени в геометрической прогрессии. В скважинах задавались условия постоянства во времени их проектных дебитов. Определение безразмерных поправочных коэф-

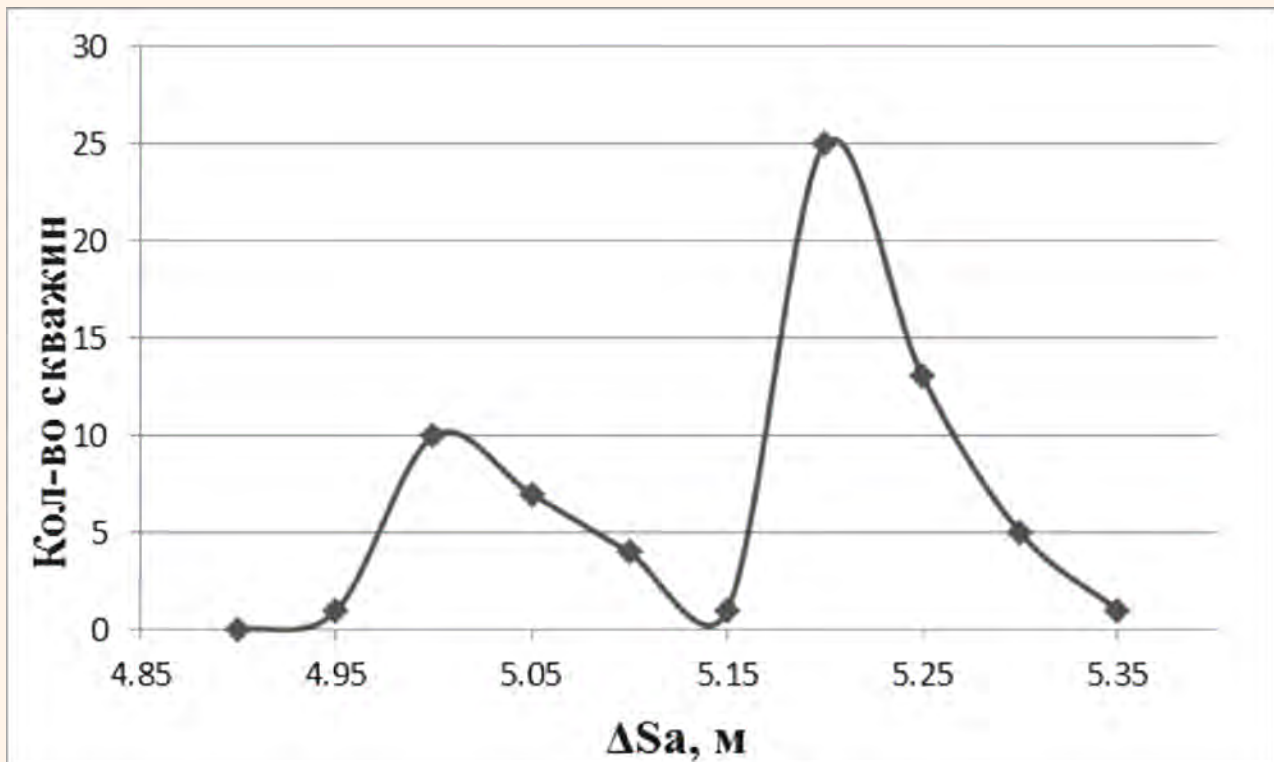


Рис. 2.
Гистограмма разницы расчетных понижений, полученных при модельных условиях изолированности пласта и постоянства уровня на границе

коэффициентов ξ по формуле (2) выполнено по результатам численных расчетов и расчетов в рамках модели напорного безграничного пласта с водопроницаемостью, равной $242,5 \text{ м}^2/\text{сут}$ и пьезопроводностью $5,95 \cdot 10^5 \text{ м}^2/\text{сут}$. Расчёты проводились для двух вариантов граничных условий – изолированности пласта и постоянства уровня на границе области моделирования.

На **рис. 2** приведена гистограмма разницы в расчетных понижениях по скважинам, полученных при использовании различных вариантов граничных условий. Как видно из представленных данных, эти различия незначительны и составляют $4,9\text{--}5,35 \text{ м}$, с наиболее часто встречающимся значением $5,2 \text{ м}$. Это подтверждает приемлемость выбора размера модельной области для численного решения рассматриваемой задачи динамики подземных вод в регионально выдержанных водоносных отложениях апт-альб-сеноманского комплекса.

На **рис. 3** представлены данные сопоставления расчетных понижений уровней в скважинах, полученных при реализации численного метода моделирования фильтрации (с модельными условиями постоянства уровня на границе области, S_c) и с использованием модели Тейса (S_a). Полученные результаты свидетельствуют о незначительном расхождении этих величин. При расчетах по каждому из этих методов расчетные

понижения уровня в скважинах лежат в интервале от 80 м до 180 м . Разница по отдельным скважинам ($S_a - S_c$) относительно равномерно варьирует от -2 м до 4 м , с некоторым преобладанием повышенных (более 3 м) значений отклонений (**рис. 4**).

Приведенные данные могут рассматриваться как свидетельство эффективности применения методов численного моделирования в задачах подсчета запасов подземных вод, и как подтверждение надежности оценок запасов, выполненных гидродинамическим методом в рамках модели Тейса, на рассматриваемом месторождении. Вместе с тем, как представляется, необходимо более детально остановиться на выявленных особенностях решения задачи численного моделирования и на полученных в рамках реализованного подхода результатах.

Особенности задачи численного моделирования при оценке запасов подземных вод

Задача численного моделирования фильтрации подземных вод апт-альб-сеноманского комплекса в рассматриваемом районе Западно-Сибирского мегабассейна, с одной стороны, достаточно проста. Отложения характеризуются высокой степенью песчаности и, несмотря на наличие глинистых пропластков, в гидродинами-

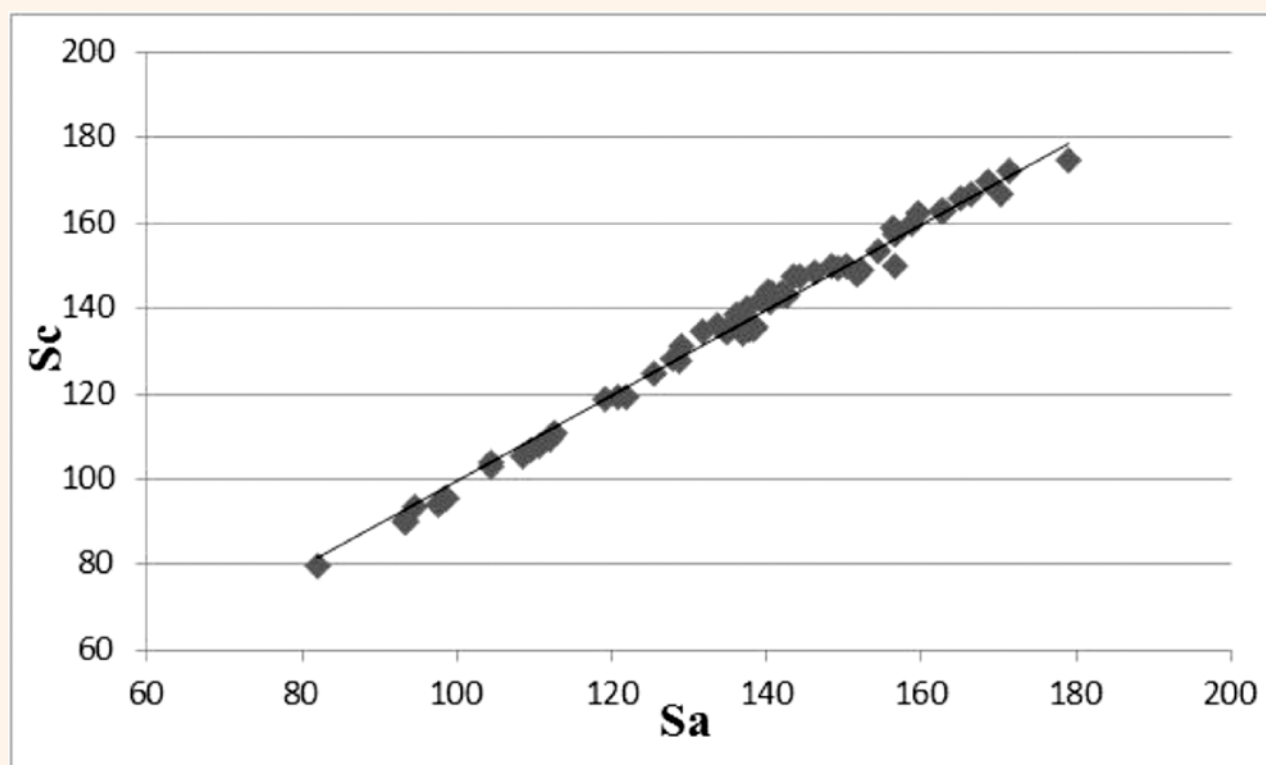


Рис. 3.
Сравнение результатов численного (S_c) и аналитического моделирования (S_a)

ческом отношении представляют собой единый объект. Надежная изолированность комплекса в кровле и подошве отложений региональными флюидоупорами исключает необходимость моделирования гидродинамической взаимосвязи с выше- и нижележащими водоносными горизонтами. Это определяет приемлемость реализации моделирования двумерной фильтрации, что, в свою очередь, существенно сокращает вычислительные и временные затраты решения задачи.

Выдержанность водоносных отложений по латерали и их гидродинамическая обособленность определяет приемлемость реализации модели безграничного, изолированного напорного пласта (модели Тейса) с использованием простых аналитических зависимостей. При численном моделировании требуется проведение расчетов в области, значительно превышающей по своим размерам площадь водозаборных участков. А в условиях необходимости учета влияния водозаборных участков, расположенных на удалении в десятки километров, характерные размеры области моделирования могут измеряться сотнями километров.

При этом расстояния между водозаборными скважинами существенно меньше и составляет несколько сотен метров. Резкие различия в характерных размерах области моделирования и в удаленности скважин друг от друга опреде-

ляют высокие требования к таким параметрам сеточной модели, как шаг сетки и ее неоднородная геометрия. Кроме того, при оценке запасов подземных вод важно достоверно определить понижение уровня в добывающих скважинах. Это может быть достигнуто также за счет дополнительного сгущения сеточной модели в окрестности скважин. Однако при использовании неравномерных сеток на фоне сокращения затрат компьютерных ресурсов и времени расчетов в значительной мере возрастают другие вычислительные проблемы, связанные с обеспечением условий устойчивости и сходимости результатов моделирования.

Применение специализированных поправок, рассчитываемых на основе учета близости характера фильтрации к радиальному и квазистационарному режиму вблизи скважин, позволяет решать задачу с использованием равномерных сеток, но вносит дополнительный элемент приближенности в решение.

Определенные проблемные моменты связаны с тем, что на каждом из этапов моделирования необходимо решать вопросы выбора конкретных численных методов и используемых управляющих параметров из широкого множества возможных вариантов. Это касается расчетных методов решения уравнений динамики подземных вод, реализации сеточных моделей, а также методов решения результирующей си-

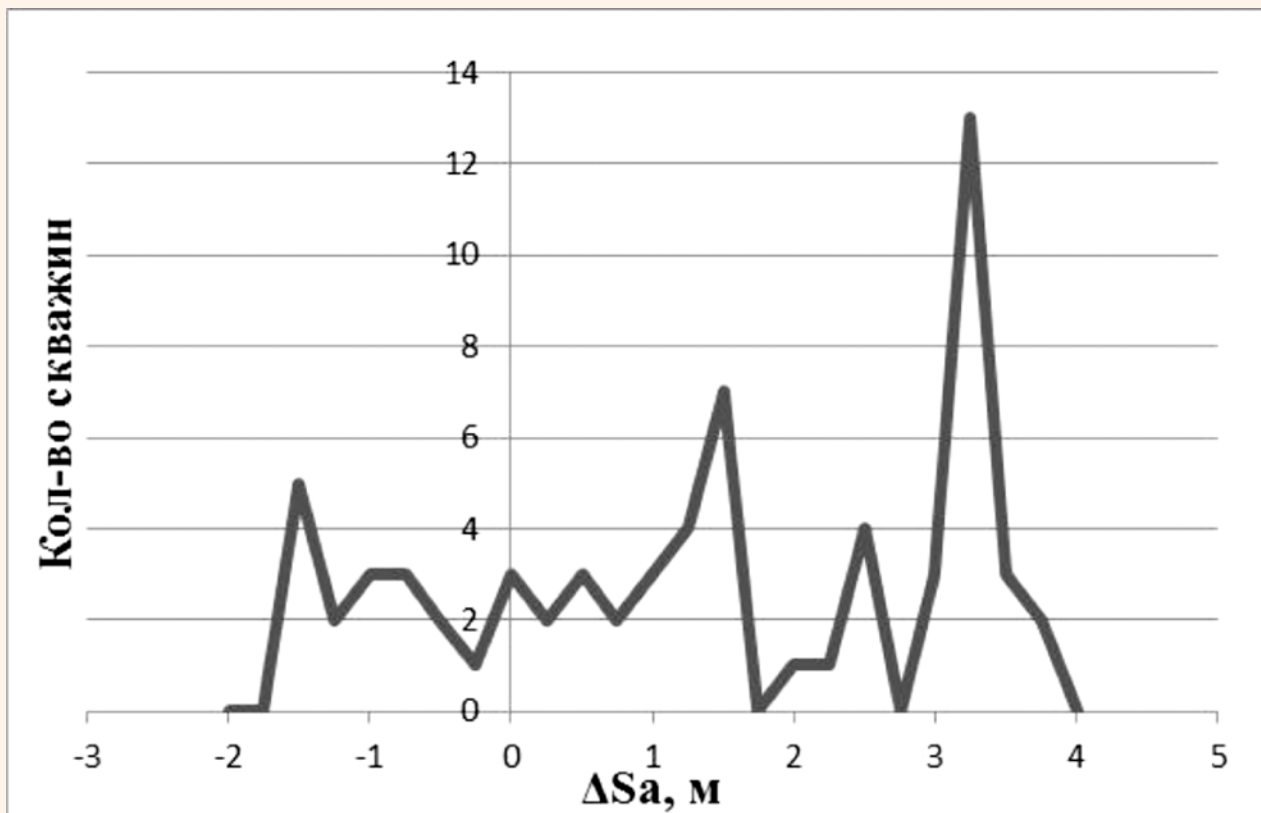


Рис. 4.

Гистограмма разницы результатов численного и аналитического моделирования

стемы алгебраических уравнений. Задача оценки влияния выбора тех или иных вариантов решения на конечные результаты требует специализированного анализа и должного уровня квалификации выполняющего расчеты специалиста. Этой стороне вопросов, как представляется, не уделяется должного внимания в работах, посвященных описанию результатов численного моделирования при решении гидрогеологических задач.

Значительные трудности связаны с наполнением сеточной модели необходимыми данными о фильтрационно-емкостных свойствах отложений [3]. По результатам гидродинамических исследований в скважинах эти параметры определяются достаточно надежно (но, как правило, таких данных относительно немного). Менее достоверно, но в существенно больших объемах параметры коллектора оцениваются по данным геофизических исследований в скважинах. С этим связаны проблемные вопросы комплексирования разнородных данных и построения согласованной картины пространственных закономерностей изменения свойств коллектора.

Как показывает практика, даже с использованием материалов ГИС, имеющегося объема фактических данных недостаточно для достоверного прогноза коллекторских свойств в зна-

чительной по своим размерам области моделирования. При этом прогнозные значения, если не использовать специализированные методы обеспечения должной неоднородности модельных свойств отложений для всей расчетной области, преимущественно будут близки к средним величинам. Фактически это сводит решение к моделированию фильтрации в однородном пласте. Возможно, частично с этим связана высокая согласованность результатов расчетов с использованием численных методов и по аналитическим формулам модели Тейса.

В целом можно отметить, что существующие программные продукты предоставляют достаточно простые средства для моделирования фильтрации в пластах с неоднородными фильтрационными свойствами в задачах оценки запасов подземных вод. Однако при их реализации необходимо не только провести большой объем технической работы по созданию адекватной модели, но и обеспечить выбор оптимальной для конкретной задачи численной схемы, ее параметров, и определение ряда свойств, детально характеризующих геологические и фильтрационные условия моделируемого объекта. Неоднозначность и наличие многих вариантов решения этих вопросов требует проведения их специального анализа, без которого невозмож-

но гарантировать достоверность результатов численного моделирования.

Следует отметить, что, в отличие от схожих по постановке и проблемным вопросам задач гидродинамического моделирования разработки месторождений углеводородов, при подсчете запасов подземных вод, как правило, не требуется создание и ведение долговременно действующей модели. Необходимо выполнить расчеты в ограниченные сроки с минимизацией вычислительных и финансовых ресурсов, но с обеспечением должного уровня надежности результатов.

В конечном итоге целесообразность применения численных методов к решению задач оценки запасов подземных вод определяется не только уровнем развития современных программных средств, но и возможностью детального определения строения и свойств моделируемого объекта, а также квалифицированного проведения работ, по оценке надежности результатов моделирования.

Выводы

В настоящее время работы по оценке и переоценке запасов подземных вод глубоких горизонтов, преимущественно апт-альб-сеноманского комплекса, используемых в системе поддержания пластового давления при разработке нефтяных месторождений Западной Сибири, выполняются на регулярной основе. Достаточно простые, как правило, гидрогеологические условия определяют использование при расчетах модели однородного напорного безграничного пласта. При этом остаются открытыми вопросы

оценки достоверности полученных результатов в условиях природной неоднородности коллекторов и, особенно, при значительных объемах водопотребности. Численные методы моделирования фильтрационных процессов дают принципиальную возможность решения этих вопросов.

Однако применением численных методов лишь частично снимается вопрос о надежности оценки запасов. Особенности численного решения – наличие нескольких вариантов выбора расчетных схем, широкий спектр допустимых значений их параметров, и отсутствие необходимой детальной информации о коллекторских свойствах пласта во всей моделируемой области фильтрации определяют неоднозначность результатов моделирования и связанные с этим трудности оценки их достоверности.

Вместе с тем, пример реализации численных методов при подсчете запасов подземных вод апт-альб-сеноманского комплекса на Повховском месторождении свидетельствует о хорошей согласованности их результатов с оценками аналитического решения в рамках модели Тейса.

Полученные результаты свидетельствуют о том, что для относительно простых гидрогеологических условий апт-альб-сеноманского комплекса Западной Сибири, в целом принципиально не отличающихся от условий на Повховском месторождении, применение численных методов не может обеспечить однозначного повышения достоверности расчетов и практически не влияет на результаты оценки запасов подземных вод по сравнению с аналитическими методами. ❏

Литература

1. Азиз Х., Сеттари Э. Математическое моделирование пластовых систем. Москва-Ижевск: Институт компьютерных исследований. 2004. 416 с.
2. Бочевер Ф.М. Теория и практические методы гидрогеологических расчетов эксплуатационных запасов подземных вод. М.: Недра. 1968. 301 с.
3. Ершов Г.Е. Геологические риски, их оценка и оптимизация при моделировании месторождений подземных вод // Разведка и охрана недр. 2012. № 11. С. 13–18.
4. Ершов Г.Е., Палкин С.С., Фортыхин А.В. Оценка эксплуатационных запасов подземных вод на отдельных участках нефтяных месторождений с использованием постоянно-действующих моделей // Разведка и охрана недр. 2005. № 11. С. 33–36.
5. Крашин И.И. и др. Численное моделирование для региональной оценки состояния и ресурсов подземных вод мелового водоносного комплекса в юго-восточной части Западно-Сибирского артезианского бассейна // Разведка и охрана недр. 2006. № 2. С. 68–75.
6. Ломакин Е.А., Мироненко В.А., Шестаков В.М. Численное моделирование геофильтрации. М.: Недра. 1988. 228 с.
7. Рошаль А.А., Потапова Е.Ю. Гидродинамическое и миграционное моделирование при оценке запасов подземных вод (на примере Московского региона) // Недропользование XXI век. 2012. № 4. С. 70–75.
8. Langevin C.D. и др. Documentation for the MODFLOW 6 Groundwater Flow Model: U.S. Geological Survey Techniques and Methods // USGS Tech. Methods 6–A55. 2017. 197 p.
9. Trescott P.C., Pinder G.F., Larson S.P. Finite-difference model for aquifer simulation in two dimensions with results of numerical experiment. Reston: U.S. Geological Survey. 1976. 34 p.

A.R. Kurchikov, Doctor of Geology and Mineralogy, Professor, Corresponding Member of RAS, Director of West Siberian Branch of Institute of Geology and Geophysics named after A.A. Trofimuka SB RAS¹, Head of the Department of Geology of Oil and Gas Fields of Tyumen Industrial University², arkurchikov@tmnsc.ru

A.G. Plavnik, Doctor of Technical Sciences, Chief Researcher of West Siberian Branch of Institute of Geology and Geophysics named after A.A. Trofimuka SB RAS¹, Professor of Tyumen Industrial University², plavnikag@ipgg.sbras.ru

V.A. Saitov, Lead Engineer of Laboratory of Hydrogeology and Geothermics of West Siberian Branch of Institute of Geology and Geophysics named after A.A. Trofimuka SB RAS¹, Head of the Department of Hydrogeology of West Siberian Institute for Problems of Oil and Gas Geology of Tyumen Industrial University², valerij.saitov@gmail.com

D.A. Kurchikov, PhD, Researcher of West Siberian Branch of Institute of Geology and Geophysics named after A.A. Trofimuka SB RAS¹, Assistant Professor of Tyumen Industrial University², Kurchikov.d@mail.ru

¹74, Taimyrskaya str., Tyumen, 625026, Russia.

²38, Volodarsky str., Tyumen, 625000, Russia.

Groundwater Reserves Assessment in the Aptian-Albian-Cenomanian Sequence of Western Siberia: Numerical Simulation of Filtration (by the Example of the Povkhovsky Oil Field)

Abstract. Calculations using the methods of numerical simulation of groundwater filtration were conducted to analyse the possible impact of reservoir properties heterogeneity on the accuracy of groundwater reserves assessment in the Povkhovsky oil field. The authors describe the procedure of simulation completed, compare its results with calculation in the model of homogeneous layer, and substantiate the conclusion that application of numerical methods takes the question of reserves assessment accuracy off the table only in part. The results show that in relatively simple hydrogeological conditions of the West Siberian Aptian–Albian–Cenomanian sequence, which are in general do not differ from those in the Povkhovsky field, application of numerical methods cannot provide a univocal enhancement of calculation reliability, and practically does not affect the results of groundwater reserves assessment compared to analytical methods.

Keywords: ground water; Aptian–Albian–Cenomanian sequence; Western Siberia; water intake; reserves assessment; Theis Model; numerical methods; reliability of results.

References

1. Aziz Kh., Settari E. *Matematicheskoe modelirovanie plastovykh sistem* [Mathematical modeling of reservoir systems]. Moscow-Izhevsk: Institut komp'yuternykh issledovaniy Publ., 2004, 416 p.
2. Bochever F.M. *Teoriya i prakticheskie metody gidrogeologicheskikh raschetov ekspluatatsionnykh zasposov podzemnykh vod* [Theory and practical methods of hydrogeological calculations of operational reserves of groundwater]. Moscow, Nedra Publ., 1968, 301 p.
3. Ershov G.E. *Geologicheskie riski, ikh otsenka i optimizatsiya pri modelirovanii mestorozhdenii podzemnykh vod* [Geological risks, their assessment and optimization in modeling groundwater deposits]. *Razvedka i okhrana nedr* [Exploration and protection of mineral resources], 2012, no. 11, pp. 13–18.
4. Ershov G.E., Palkin S.S., Fortygina A.V. *Otsenka ekspluatatsionnykh zasposov podzemnykh vod na otdel'nykh uchastkakh neftianyykh mestorozhdenii s ispol'zovaniem postoianno-deistvuyushchikh modelei* [Assessment of operational reserves of groundwater in certain areas of oil fields using permanent models]. *Razvedka i okhrana nedr* [Exploration and protection of mineral resources], 2005, no. 11, pp. 33–36.
5. Krashin I.I. i dr. *Chislennoe modelirovanie dlia regional'noi otsenki sostoianiia i resursov podzemnykh vod melovogo vodonosnogo kompleksa v iugo-vostochnoi chasti Zapadno-Sibirskogo artezianskogo basseina* [Numerical modeling for regional assessment of the state and resources of underground waters of the Cretaceous aquifer in the southeastern part of the West Siberian artesian basin]. *Razvedka i okhrana nedr* [Exploration and protection of mineral resources], 2006, no. 2, pp. 68–75.
6. Lomakin E.A., Mironenko V.A., Shestakov V.M. *Chislennoe modelirovanie geofil'tratsii* [Numerical modeling of geofiltration]. Moscow, Nedra Publ., 1988, 228 p.
7. Roshal' A.A., Potapova E.Iu. *Gidrodinamicheskoe i migratsionnoe modelirovanie pri otsenke zasposov podzemnykh vod (na primere Moskovskogo regiona)* [Hydrodynamic and migration modeling in the assessment of groundwater reserves (on the example of the Moscow region)]. *Nedropol'zovanie XXI vek* [Subsoil use XXI century], 2012, no. 4, pp. 70–75.
8. Langevin C.D. i dr. *Documentation for the MODFLOW 6 Groundwater Flow Model: U.S. Geological Survey Techniques and Methods // USGS Tech. Methods 6–A55*. 2017. 197 p.
9. Trescott P.C., Pinder G.F., Larson S.P. *Finite-difference model for aquifer simulation in two dimensions with results of numerical experiment*. Reston: U.S. Geological Survey. 1976. 34 p.